شاخص فوری کیفیت آب در پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان(*Oncorhynchus mykiss*)

فیروزه حسینی گله زن[۱]، محمدرضا بیاتی*[۲]، امید صفری[۳]، عباس روحانی[۴]

[۱] دانشجو کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، firouzeh.hosseini@mail.um.ac.ir
[۲] استادیار، دانشگاه فردوسی مشهد، bayati@um.ac.ir
[۳] استادیار، دانشگاه فردوسی مشهد، Omidsafari@um.ac.ir
[۴] استادیار، دانشگاه فردوسی مشهد، arohani@um.ac.ir

چکیده

آب به عنوان محیط زندگی و تامین‌کننده تمام نیازهای زیستی آبزیان نقش اساسی در همه‌ی فرایندهای آبزی‌پروری دارد. کیفیت و کمیت مناسب آب تعیین‌کننده فعالیت‌ها، مخارج و منافع سیستم‌های آبزی‌پروری است. بر این اساس لازم است مدیریت صحیح در این باره صورت پذیرد. مدیریت مناسب کیفیت آب از طریق نظارت و پیش‌بینی به هنگام امکان‌پذیر است. از این رو استفاده از روش‌های سریع و دقیق ارزیابی کیفیت آب برای مدیریت کارآمد مورد نیاز می‌باشد. سیستم استنتاج فازی یکی از روش‌های ساده، سریع، قابل فهم و انعطاف‌پذیر در این زمینه می‌باشد. این سیستم‌ها قادر به پردازش هم‌زمان پارامترهای مختلف و ارائه یک نتیجه کامل و دقیق از وضعیت کیفیت آب هستند. با توجه به هزینه، زمان، تجهیزات و انرژی بسیار مورد نیاز برای آزمایش همه پارامترهای کیفیت آب، از طرفی تاثیر متقابل پارامترها بر یکدیگر و میزان اهمیت هر کدام از آن‌ها انتخاب پارامترهای اصلی کیفیت آب امری ضروری و مهم است. با در نظر گرفتن این نکته که کیفیت آب بر پایه آزمون سمیت سنجیده می‌شود و قدرت تحمل متفاوت گونه‌های آبزی به میزان و نوع ترکیبات سمی، عوامل ایجاد کننده اثرهای سمی در تولید ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در هنگام انتخاب پارامترها مورد توجه قرار گرفت. بر همین اساس پارامترهای آمونیاک یونیزه نشده، اکسیژن محلول، مجموع مواد معلق جامد و دی‌اکسیدکربن به عنوان عوامل حیاتی موثر در کیفیت آب در پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان انتخاب شدند. در این مطالعه از یک سیستم استنتاج فازی برای تعیین یک شاخص کیفیت آب در پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان استفاده شد و نتایج این تحقیق نشان داد که پارامترهای آمونیاک یونیزه نشده، اکسیژن محلول، مجموع مواد معلق جامد و دی‌اکسیدکربن به ترتیب بیشترین تاثیر را بر تخریب کیفیت آب دارند.

کلمات کلیدی: سیستم استنتاج فازی، شاخص، قزل‌آلای رنگین‌کمان، کیفیت آب.

Urgent water quality index for the production of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)

Firoozeh Hosseini Galezan [1], Mohammad Reza Bayati [*2], Omid Safari [3], Abbas Rouhani [4]

[1] MSc Student, Ferdowsi University of Mashhad, firouzeh.hosseini@mail.um.ac.ir
[2] Assistant Professor, Ferdowsi University of Mashhad, bayati@um.ac.ir
[3] Assistant Professor, Ferdowsi University of Mashhad, Omidsafari@um.ac.ir
[4] Assistant Professor Ferdowsi University of Mashhad, arohani@um.ac.ir

ABSTRACT

water as a living environment and supplier all the biological needs of aquatic animals plays an essential role in all aquaculture processes. the quality and quantity of water appropriately determines the activities, costs and Interests of aquaculture systems. on this basis, correct management about this is required take place. proper management of water quality through timely monitoring and forecasting is possible. hence, the use of fast and accurate methods of assessing water quality is needed for efficient management. fuzzy inference system is one of the simplest, fast, intelligible and flexible methods in this field. these systems

are able to process various parameters simultaneously and provide a complete and accurate result of the water quality status. considering the much cost, time, equipment and energy required to test all the water quality parameters, the interplay of the parameters on each other and the importance of each of them, it is important and essential to choose the main parameters of water quality. taking into account the point that the water quality is weighed on the basis of the toxicity test and the different power of tolerance of the aquatic species to the amount and type of toxic compounds, the factors causing toxic effects in the production of rainbow trout were taken into account when selecting parameters. accordingly the parameters of unionized ammonia, dissolved oxygen, total suspended solids and carbon dioxide as vital factors affecting water quality were selected in the rearing of rainbow trout. In this study, a fuzzy inference system was used to determine a water quality index in rainbow trout rearing. the results of this study showed that parameters unionized ammonia, dissolved oxygen, total suspended solids and carbon dioxide have the most impact on water quality degradation, respectively.

Keywords: Fuzzy Inference System, Indicator, Rainbow Trout, Water

۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین وظایف در مدیریت آبزی‌پروری متراکم تنظیم کیفیت آب است. پیش‌بینی دقیق کیفیت آب اساسی برای تصمیم‌گیری‌ها در هنگام کنترل کیفیت آب، تنظیم برنامه آب آبزی‌پروری و رسیدگی به حوادث کیفیت آب است(Xu & Liu, 2013) کنترل مناسب کیفیت آب برای حفظ غلظت پارامترهای محیط آب در محدوده بهینه می‌تواند سرعت رشد ماهی را افزایش دهد، بر میزان استفاده از رژیم غذایی اثر گذار باشد و باعث کاهش وقوع بیماری‌های ماهی در مقیاس بزرگ شود(dos Santos Simões et al., 2008; Stigebrandt et al., 2004). همچنین پیش-بینی‌های دقیق پارامترهای کیفیت آب می‌تواند امکان حمایت از هشدار زودهنگام آلودگی آب و صرفه‌جویی در وقت برای تصمیم‌گیری را فراهم کند(Deng et al., 2015). روش‌های سنتی به سختی می‌توانند به غیرخطی بودن، ذهنیت[1] پیچیدگی روابط علت و معلول بین متغیرهای کیفیت آب و وضعیت کیفیت آب اشاره کنند و تا کنون روش عمومی پذیرفته شده‌ای برای این منظور وجود ندارد (L. Liu et al., 2010). بنابرین استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی جهت حصول اطلاعات در مورد کیفیت آب ضروری است. مدل‌های فازی از تکنیک‌های پرکاربرد هوش مصنوعی در این زمینه می‌باشند. مزیت مدل‌های فازی از انعطاف‌پذیری، شفافیت و کاربر پسند بودن آن است(Adriaenssens et al., 2006; Akerkar & Sajja, 2010). این مدل‌ها عدم قطعیت ذاتی متغیرهای اکولوژیکی را در نظر می‌گیرند و روابط غیرخطی بین متغیرهای اکولوژیکی را بیان می-کنند(Kampichler et al., 2000).

مطالعات متعددی در مورد کاربرد مدل‌های فازی در پیش‌بینی کیفیت آب وجود دارد(Icaga, 2007; D. Liu & Zou, 2012; Scannapieco et al., 2012). در پژوهشی شاخصی در مورد ارزیابی کیفیت آب برای پرورش میگو وانامی بر اساس سیستم استنتاج فازی توسعه یافت. در طی این مدل‌سازی پارامترهای کیفیت آب طبقه‌بندی شد و اثرات منفی محیطی پارامترها در زیستگاه میگو با سیستم استنتاج فازی مورد ارزیابی قرار گرفت و مهم‌ترین پارامترها به وسیله تحلیل سلسله مراتبی اولویت‌بندی گردید، در نهایت یک شاخص جدید برای ارزیابی وضعیت اکولوژیکی کیفیت آب ارائه شد(Carbajal-Hernández et al., 2012). در مطالعه دیگری از یک مدل استنتاج فازی به منظور شناسایی عوامل کلیدی کیفیت آب در اکوسیستم‌های آبزی در حوضه رودخانه گیواس آمریکا استفاده شد. مدل شامل متغیرهای استفاده از زمین، کلروفیل و سرعت جریان بود. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از زمین بیشترین تاثیر را بر کیفیت آب اکوسیستم‌های آبزی در آن ناحیه دارد و تاثیر سایر متغیرها بر کیفیت آب را تا حد زیادی تحت تاثیر قرار می‌دهد(Forio et al., 2017). همچنین در پژوهشی از سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه عصبی برای طبقه‌بندی وضعیت کیفیت آب رودخانه استفاده شد. سه پارامتر فیزیکی و شیمیایی غیرآلی اکسیژن محلول، تقاضای اکسیژن خواهی شیمیایی و آمونیاک نیتروژن برای این منظور به کار رفت. مدل توانست به خوبی با خطای ۰/۳۳ ٪ وضعیت کیفیت آب را در شش گروه طبقه‌بندی کند(Yan et al., 2010).

کیفیت آب بر اساس نتایج آزمایش‌های سمیت مشخص می‌شود. این آزمایش‌ها پاسخ‌های موجودات آبزی را به مقادیر مشخصی از آلودگی‌های خاص اندازه‌گیری می‌کنند.گونه‌های آبزی قدرت تحمل متفاوتی برای یک ترکیب سمی خاص دارند(Carbajal-Hernández et al., 2012). متغیرهای اکولوژیکی مختلف ممکن است به طور هم‌زمان باعث وخامت کیفیت آب شوند؛ با این حال، انتخاب تعداد محدودی از متغیرهای مرتبط برای تعیین اولویت‌های مدیریت ضروری است و تجدید و حفاظت منابع آب را از یک راه مقرون به صرفه تسهیل می‌کند. بنابراین، انتخاب متغیر ورودی نقش مهمی در توسعه مدل‌های داده محور در مدل‌سازی محیطی دارد(Li et al., 2015).

[1] Subjectivity

در طول دهه گذشته، بیشترین نرخ تولید محصولات آبزی‌پروری متعلق به ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) با نرخ ۴۰٪ از کل تولید آبزیان بوده است. اخیرا مشخص شده است که پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان رشد قابل توجهی داشته است. منجر به صعود ایران به رده اول پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در آب شیرین رسیده است(Kalbassi et al., 2013).

هدف از انجام این تحقیق تعیین یک شاخص کیفیت آب فوری در پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان و همچنین تشخیص میزان تاثیر و اهمیت پارامترهای اصلی کیفیت آب بر تغییرات کیفیت آب با استفاده از یک سیستم استنتاج فازی می‌باشد.

۲- بخش مواد و روش‌ها

۲-۱- مجموعه داده‌ها

۲-۱-۱- منابع داده و منطقه مورد مطالعه

جمع‌آوری اطلاعات از طریق نمونه‌برداری پیوسته طی سه ماه (از آذر ماه تا اسفند ماه سال۱۳۹۶) به صورت سه روز یک بار از هفت ایستگاه منتخب از یک سیستم متراکم پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در مزرعه‌ای واقع در منطقه ارتکند شهرستان کلات استان خراسان رضوی در ایران صورت گرفت. در مجموع ۱۷۵ نمونه در طول سه ماه از ایستگاه‌های منتخب جمع‌آوری گردید.

۲-۱-۲- پارامترهای اندازه‌گیری شده

اکسیژن محلول، آمونیاک، دی‌اکسیدکربن، مجموع مواد معلق جامد پارامترهای اندازه‌گیری شده در این تحقیق هستند که در ورودی و خروجی ایستگاه‌ها سه بار مقادیر مینیمم، ماکزیمم و میانگین هر پارامتر اندازه‌گیری شد و مقدار میانگین آن برای ورود به مدل استفاده شد. اکسیژن محلول (میلی‌گرم بر لیتر) و دی‌اکسیدکربن(میلی‌گرم بر لیتر) به وسیله دستگاه مولتی‌متر آزمایشگاهی چند منظوره پرتابل مدل AZ-8603 اندازه‌گیری شدند. آمونیاک یونیزه نشده با استفاده از جدول تجربی مربوط به نسبت آمونیاک یونیزه نشده به pH و دمای آب استخر محاسبه شد (Boyd & Tucker, 1998). نمونه‌های آب (100) میلی‌لیتر از طریق فیلترهای فیبر شیشه‌ای فیلتر شدند و فیلترها و جامدات نگهداری شده در دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و تا دمای اتاق در دسیکاتور خنک شدند و برای تعیین غلظت مجموع مواد معلق جامد وزن شدند (Boyd & Tucker, 1992).

۲-۲- شاخص کیفیت آب

شاخص کیفیت آب[1]یک ابزار ریاضی برای تبدیل مقادیر زیادی از داده‌های کیفیت آب به یک عدد است، که پارامترهای مختلف کیفیت آب را برای ارائه تفسیر کاملی از رفتار پارامترهای کیفیت آب در پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان *(Oncorhynchus mykiss)* خلاصه می‌کند.

۲-۳- سیستم استنتاج فازی

استنتاج فازی، فرایند فرموله کردن نگاشتی از یک ورودی داده شده به یک خروجی با استفاده از منطق فازی است. این نگاشت می‌تواند به تصمیم‌گیری یا تشخیص الگوها کمک کند. فرآیند استنتاج فازی شامل سه مفهوم مهم توابع عضویت، عملیات‌های منطقی و قوانین اگر-آن‌گاه است(Gutiérrez et al., 2004; Ocampo-Duque et al.,2006; Zadeh, 1965).

۲-۳-۱- ورودی‌های فازی

پارامترهای کیفیت آب توسط محدودیت‌هایی تعریف می‌شوند که نباید از آن‌ها تجاوز کرد. با این حال، هنگامی که یکی از غلظت‌ها نزدیک به یک مقدار مرزی است، شرایط کیفیت آب را نمی‌توان به وضوح مشخص کرد. در این حالت، عدم قطعیت سطح غلظت نزدیک به یک حد را تعیین می‌کند و آن را در ورودی سیستم استنتاج فازی به عنوان توابع عضویت اعمال می‌کند. یک تابع عضویت (μ) یک مقدار واقعی (اندازه‌گیری شده) را به مقدار [۰،۱] تبدیل می‌کند. رایج‌ترین توابع عضویت مثلثی، مستطیلی و ذوزنقه‌ای یا گوسی هستند(Juang et al., 2007; Ocampo-Duque et al., 2006). معیار خاصی برای ساختن توابع عضویت سفارشی وجود ندارد. آن‌ها می‌توانند به روش‌های مختلفی اجرا شوند. با این حال، به منظور مطالعه حاضر، مجموعه‌های فازی خطی فرایند غیرفازی‌سازی را آسان‌تر می‌کنند و عملکرد خوبی را ارائه می‌دهند. توابع عضویت مثلثی و ذوزنقه‌ای در این مطالعه برای انتقال ورودی به سیستم فازی تعریف شدند و آن‌ها را می‌توان به ترتیب با روابط زیر بیان نمود:

[1]Water Quality Index (WQI)

$$\mu(a,b,c,d) = \max\left(\min\{\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\}, 0\right) \quad (۱)$$

$$\mu(a,b,c,d) = \min\{\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c}\} \quad (۲)$$

جایی که x یک متغیر کیفیت آب است؛ a، b، c و d پارامترهای عضو هستند.

۲-۳-۲- اپراتورهای فازی

پس از فازی‌سازی شدن ورودی‌ها، درجه عضویت هر بخش از مقدم قانون محاسبه شد. اگر مقدم یک قانون دارای بیش از یک ورودی باشد، اپراتور فازی برای به دست آوردن نتیجه قانون استفاده می‌شود. در این مورد، سه اپراتور فازی، اپراتورهای اجتماع[1]، اشتراک[2] و مکمل[3] مورد استفاده قرار می‌گیرد که در روابط ۲ تا ۴ بیان شده‌اند(Zadeh, 1973).

$$\text{Uion(OR)}\ \mu A \cup B(x) = \max\{\mu A(x), \mu B(x)\} \quad (۲)$$

$$\text{Intersection(AND)}\ \mu A \cap B(x) = \min\{\mu A(x), \mu B(x)\} \quad (۳)$$

$$\text{Negation(NOT)}\ \mu\bar{A}(x) = 1 - A(x) \quad (۴)$$

۲-۳-۳- قوانین استنتاج (فرایند استدلال)

ذهنیت ممکن است به تفسیرهای خاصی از هر جنبه تجربی اشاره کند. شاخص پیشنهادی به منظور تعیین مشکلات مختلف به وجود آمده در اکوسیستم توسط غلظت‌های مختلف پارامتر از ذهنیت استفاده می‌کند. این فرآیند با استفاده از قوانین فازی مشمول در سیستم استنتاج فازی انجام می‌شود. هنگامی که یک پارامتر بحرانی آب مقدار کم‌تر یا بیشتر از حد مجاز می‌گیرد، بدون توجه به شرایط عالی پارامترهای دیگر، کشتار جمعی صورت خواهد گرفت. این شرایط برای محدوده غلظت بحرانی اکسیژن محلول، مجموع مواد معلق جامد، دی اکسید کربن، آمونیاک، باید در قوانین سیستم استنتاج فازی در هنگام ارزیابی شرایط محیطی یک استخر پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در نظر گرفته شود. اگر قوانین درست ساخته شوند آن‌گاه سیستم استنتاج فازی قادر خواهد بود بحران بالقوه آلودگی آب را شناسایی کند. در ارزیابی کیفیت آب، متخصصان بیشتر مواقع از عبارت‌هایی مانند« در صورتی که اکسیژن محلول نرمال باشد غلظت آلاینده‌هایی مانند آمونیاک، دی‌اکسیدکربن و مجموع مواد معلق جامد در حد قابل قبول باشد، سپس کیفیت آب ایده‌آل است» استفاده می‌کنند. در زبان فازی، این عبارت‌ها را می‌توان به صورت زیر بیان کرد: قانون اول: اگر غلظت اکسیژن محلول زیاد و غلظت آمونیاک کم و غلظت دی‌اکسیدکربن کم و غلظت مجموع مواد معلق جامد کم باشد آن‌گاه کیفیت آب عالی است. کارآیی یک سیستم بستگی به تعداد و کیفیت قوانین آن دارد. بقیه قوانین به شکل مشابهی تعریف می‌شوند.

۲-۳-۴- جمع‌آوری[4]

[1]Union (OR)
[2]Intersection (AND)
[3]Negation (NOT)
[4]Aggregation

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

توابع عضویت شاخص کیفیت آب به شکلی متفاوت از توابع ورودی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. آن‌ها بسته به نتیجه حاصل از قانون ارزیابی شده با خروجی‌های فازی مطابقت دارند. از آن‌جا که تصمیم‌گیری بر اساس آزمودن تمام قوانین سیستم است، این توابع باید برای تولید یک خروجی فازی ترکیب شوند. ورودی فرآیند جمع‌آوری فهرستی از توابع خروجی کوتاه شده[1]است که از هر قانون به دست می‌آید. خروجی فرایند جمع‌آوری یک تابع عضویت فازی است که باید غیرفازی‌سازی شود. روش جمع‌آوری مورد استفاده در این سیستم استنتاج فازی روش اجتماع است (Chow, 1997; Juang et al., 2007; Ocampo-Duque et al., 2006) که حاصل اتحاد فازی تمام خروجی‌های کوتاه شده می‌باشد (شکل ۱).

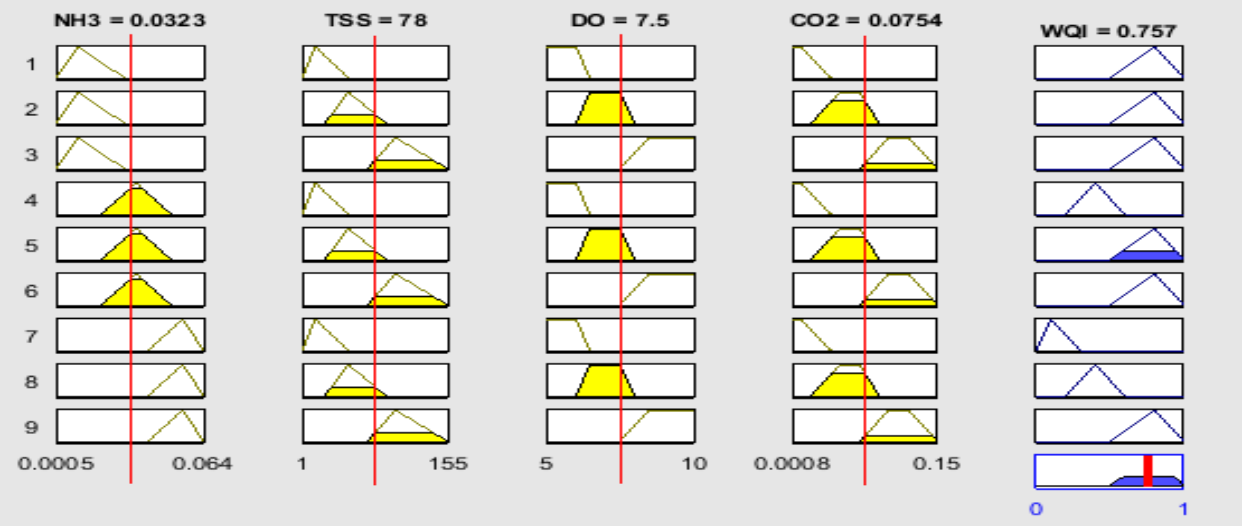

Figure 2. Fuzzy System Diagram for Determining the Water Quality Index for Rainbow Tree Breeding with Four Parameters and No Law.

شکل۱- دیاگرام سیستم فازی برای تعیین شاخص کیفیت آب در پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با چهار پارامتر و نه قانون.

۲-۳-۵- غیرفازی‌سازی

تابع مرکزی[2]رایج‌ترین و جذاب‌ترین روش فیزیکی از میان روش‌های در دسترس برای فرآیند غیرفازی‌سازی است (Ocampo-Duque et al., 2006; Ross, 2009). روش تابع مرکزی مرکز ناحیه زیر منحنی به وجود آمده را توسط تابع فازی خروجی بر اساس عبارت ۶ نشان می‌دهد:

$$CF = \frac{\int x\mu out(x)dx}{\int \mu out(x)dx} \qquad (۶)$$

از آن‌جا که تابع مرکزی مرکز ناحیه را محاسبه می‌کند، مقدار نهایی برای تابع مرکزی نتیجه خروجی را از مرکز بد (0.1) به مرکز عالی (0.8) محدود می‌کند. شرایط مختلف کیفیت آب در داخل این محدوده قرار می‌گیرد. بنابراین نتیجه باید با استفاده از عبارت ۷ نرمال‌سازی شود؛ به طوری که مقدار آن در محدوده [۰، ۱] تغییر کند.

$$WQI = \frac{CF - \min(CF)}{max(CF) - min(CF)} \qquad (۷)$$

شاخص کیفیت آب با استفاده از سیستم استنتاج فازی یک شاخص جدید کیفیت آب نرمال خواهد بود.

۳- نتایج

۳-۱- انتخاب پارامترها

انتخاب پارامترها در این تحقیق بر اساس میزان اهمیت پارامترهای کیفیت آب و میزان تاثیر آن‌ها در تخریب کیفیت آب صورت گرفت. هنگامی

[1]Truncated
[2]Centroid Function (CF)

که مبادله آب محدود است، در درجه اول سه پارامتر کیفیت آب وجود دارند که رشد ماهی را محدود می‌کنند، این پارامترها شامل اکسیژن محلول، دی‌اکسیدکربن و آمونیاک یونیزه نشده می‌باشند. هنگامی که نرخ تبادل آب کاهش می‌یابد، اکسیژن اشباع اولین عامل محدودکننده است (Thorarensen & Farrell, 2011). از طرفی سطح زیاد ذرات معلق جامد به طور گسترده‌ای برای سلامتی و رفاه ماهی مضر شناخته می‌شود (Becke et al., 2017). بنابراین چهار پارامتر اکسیژن محلول، دی‌اکسیدکربن، آمونیاک یونیزه نشده و مجموع مواد معلق جامد به عنوان پارامترهای ورودی برای شاخص کیفیت آب پیشنهادی در نظر گرفته شدند. دامنه تغییرات هر یک از متغیرها و سطوح آن‌ها بر اساس علوم متخصصان بخش شیلات و منابع در دسترس تعیین گردید(Nafisi,2006; Publication of Principles of Trout Rearing and Reproduction,2003; Timmons, et al., 2001). اطلاعات مربوط به تعیین سطح و دامنه تغییرات پارامترها در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول۱.متغیرهای اندازه‌گیری شده در هر نمونه‌برداری از ایستگاه‌های منتخب. مقادیر زبانی تعلق گرفته به متغیرهای ورودی و خروجی در مدل کیفیت آب و مجموعه‌های فازی توصیف کننده این مقادیر زبانی.

Table 1. variables measured in each sampling from selected stations. linguistic values assigned to the input and output variables in the water quality model and fuzzy sets describing these linguistic values.

Variable	NH3 (mg/l)	TSS(mg/l)	DO(mg/l)	CO2(mg/l)	Water Quality (bad,good,excellent)
Linguistic value	Low Medium High	Low Medium High	Low Medium High	Low Medium High	Bad Good Excellent
Thresholds	0.005-0.064	1-155	5-10	0.0008-0.15	0-1
Fuzzy set parameters	(0,0005 0,01 0,03) (0,02 0,035 0,05) (0,04 0,055 0,064)	(1 15 50) (25 50 90) (70 100 155)	(-inf 5 6 6.5) (6 6,5 7,5 8) (7,5 8,5 9 inf)	(-inf -inf 0,01 0,04) (0,02 0,05 0,07 0,09) (0,07 0,1 0,12 0,15)	(0 0,1 0,3) (0,2 0,4 0,6) (0,5 0,8 1)

۳-۲- شاخص کیفیت آب

سیستم استنتاج فازی بر مبنای اطلاعات یادشده ساخته شد، ساختار کلی این سیستم در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج سیستم فازی نشان می‌دهند که غلظت آمونیاک یونیزه نشده مهم‌ترین عامل در تخریب کیفیت آب در پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان می‌باشد و شدت اثر آن بر کیفیت آب بسیار بیشتر از پارامترهای دیگر است. پس از آن به ترتیب میزان اکسیژن محلول، مجموع مواد معلق جامد و دی‌اکسیدکربن بیشترین تاثیر را بر میزان کیفیت آب داشتند. نمودارهای سطح پاسخ مربوط به تاثیر اثرهای متقابل آمونیاک با هریک از سه پارامتر دیگر بر تغییرات شاخص کیفیت آب در شکل ۳ نشان داده شده است.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

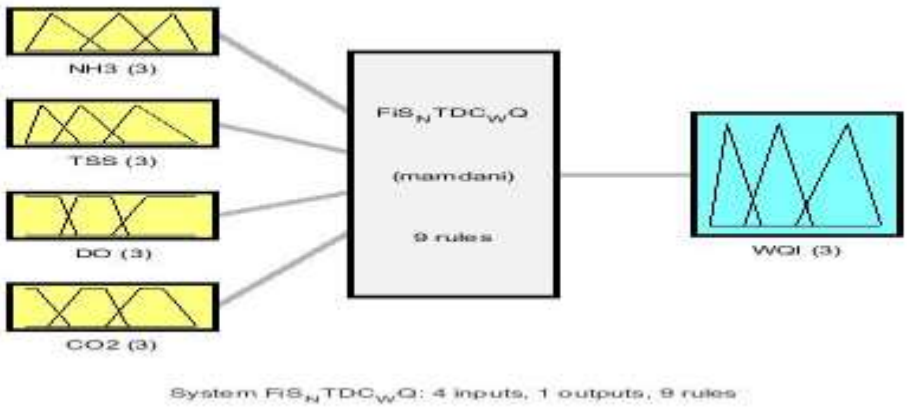

Figure 1. fuzzy inference system structure using parameters and rules for water quality index for rainbow trout rearing.

شکل۲- ساختار سیستم استنتاج فازی با استفاده از پارامترها و قوانین شاخص کیفیت آب پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان.

(c) (b) (a)

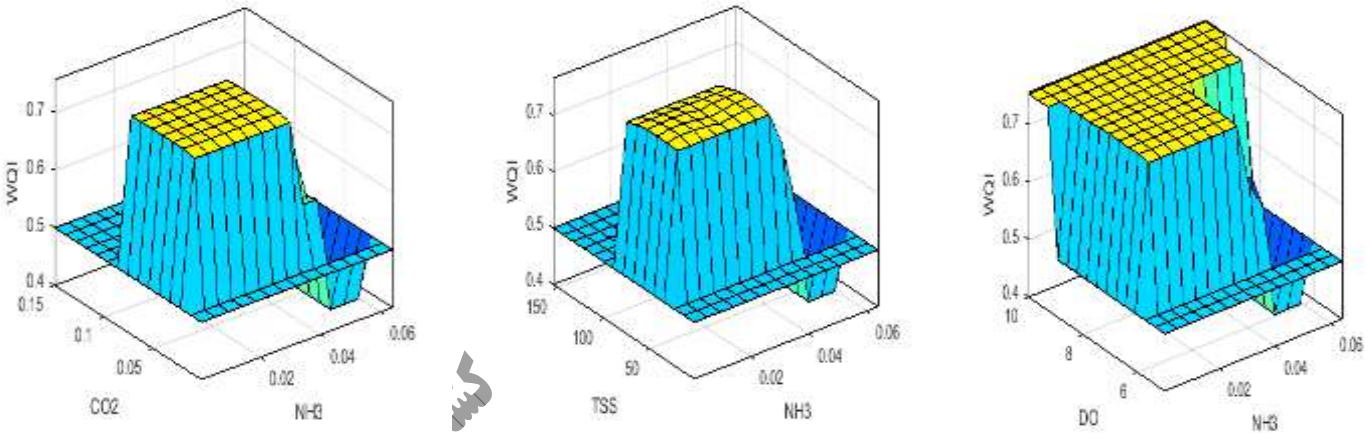

Figure 3.response surface diagrams the result of fuzzy inference system of the water quality index in rainbow trout rearing (a) response surface diagram shows the effects of ammonia and dissolved oxygen interactions on water quality index variations(b) response surface diagram illustrates the effects of ammonia and total suspended solids interactions on the water quality index variations (c) response surface diagram shows the effects of interactions between ammonia and carbon dioxide on water quality index variations.

شکل۳- نمودارهای سطح پاسخ حاصل از سیستم استنتاج فازی شاخص کیفیت آب در پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان(a) نمودار سطح پاسخ نشان‌دهنده تاثیر اثرهای متقابل آمونیاک و اکسیژن برتغییرات شاخص کیفیت آب(b) نمودار سطح پاسخ نشان دهنده تاثیر اثرهای متقابل آمونیاک و مجموع مواد معلق جامد برتغییرات شاخص کیفیت آب (c) نمودار سطح پاسخ نشان دهنده تاثیر اثرهای متقابل آمونیاک و دی‌اکسیدکربن برتغییرات شاخص کیفیت آب.

۴- بحث

گزارش‌های سنتی در مورد کیفیت آب، بیش از حد فنی و مفصل هستند، داده‌های نظارت شده را بر اساس مفهوم فردی و بدون ارائه ارزیابی کامل و قابل تفسیر از کیفیت آب ارائه می‌کنند. برای حل این مشکل، تعدادی از شاخص‌های کیفیت آب به منظور پیوند پارامترهای کیفیت آب به یکدیگر توسعه یافتند. مدل‌های سنتی کیفیت آب را به صورت بسیار دقیق بررسی می‌کنند و سطوح خاص غلظت‌ها را در یک سطح محض و سخت طبقه‌بندی می‌کنند، در حالی که سیستم استنتاج فازی سطوح غلظت پارامترها را به یک روش نرم و انعطاف‌پذیر طبقه‌بندی می‌کند. بنابراین در این سیستم استنتاج فازی غلظت‌های اندازه‌گیری شده برای تمام پارامترها به طور همزمان پردازش می‌شوند و در نتیجه یک درجه آلودگی آب ایجاد می‌شود که شاخص کیفیت آب جدیدی را تشکیل می‌دهد. (Carbajal-Hernández et al., 2012). در این مطالعه اثرهای متقابل اکسیژن محلول،

دی‌اکسیدکربن، آمونیاک یونیزه نشده و مجموع مواد معلق جامد به طور هم‌زمان بر تغییرات شاخص کیفیت آب در پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به وسیله سیستم استنتاج فازی مورد ارزیابی قرار گرفت. در نتیجه، مقدار ۰/۷۵۷ برای شاخص کیفیت آب حاصل شد که نشان می‌دهد کیفیت آب در مزرعه پرورش ماهی مورد مطالعه در محدوده عالی قرار دارد، در حالی که آمونیاک یونیزه نشده به عنوان عامل اصلی کاهش کیفیت آب شناخته شد. از نتایج این مدل می‌توان به منظور کنترل غلظت آلاینده‌های آب، برنامه‌ریزی برای ایجاد سیستم مدار بسته، تعیین نرخ رشد، میزان غذای مصرفی و تراکم ذخیره‌سازی ماهی‌ها، کاهش سطح استرس در ماهی‌ها و جلوگیری از وقوع بیماری‌ها، هم‌چنین تشخیص میزان نیاز به هوادهی در مزرعه پرورش ماهی مورد مطالعه استفاده نمود. با توجه به این که تا کنون شاخصی برای پیش‌بینی کیفیت آب در پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان ارائه نشده است، معرفی این شاخص و استفاده از آن می‌تواند گام مهمی در مدیریت تولید ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان باشد. علاوه بر این روش پیشنهادی برای ایجاد شاخص کیفیت آب در تولید سایر آبزیان نیز بسیار مفید و موثر است.

۵- نتیجه‌گیری

نظارت و ارزیابی مداوم کیفیت آب پیش نیاز هر آبزی‌پروری موفق و پایدار است. بررسی کیفیت آب از طریق روش‌های سنتی زمان‌بر، پرهزینه، مستعد خطا و اغلب سخت‌گیرانه می‌باشد. بنابراین استفاده از روش‌های دقیق‌تر و سریع‌تر با هزینه کم‌تر به منظور پیش‌بینی و کنترل کیفیت آب امری ضروری است. همچنین ارزیابی مستقل تاثیر هر پارامتر کیفیت آب بر تغییرات کیفیت آب اطلاعات ناقص و تک بعدی به دست می‌دهد و نیاز به انجام تعداد آزمایش‌های بیشتری وجود دارد که با افزایش هزینه، کار و زمان مورد نیاز همراه خواهد بود. از این رو به کارگیری یک روش هوشمند نرم و انعطاف‌پذیر که بتواند تاثیر هم‌زمان و متقابل پارامترهای اصلی کیفیت آب بر تغییرات کیفیت آب را در قالب یک نتیجه جامع و واضح بیان کند بسیار مطلوب خواهد بود. در این مطالعه اثر پارامترهای اساسی کیفیت آب از جمله اکسیژن محلول، دی‌اکسیدکربن، آمونیاک یونیزه نشده و مجموع مواد معلق جامد به طور هم‌زمان توسط یک سیستم استنتاج فازی مورد بررسی قرار گرفت و نتیجه آن در قالب یک شاخص کیفیت آب جدید نشان داده شد. همچنین آمونیاک یونیزه نشده از میان پارامترهای منتخب به عنوان موثرترین پارامتر مخرب کیفیت آب شناخته شد و پس از آن به ترتیب اکسیژن محلول، مجموع مواد معلق جامد و دی اکسیدکربن بیشترین تاثیر را بر کاهش کیفیت آب داشتند.

۶- تقدیر و تشکر

با تشکر از معاونت آموزشی دانشگاه فردوسی مشهد به دلیل حمایت مالی از طرح ۴۵۷۴۸.

۷- مراجع

Adriaenssens, V., Goethals, P. L., & De Pauw, N. (2006). Fuzzy knowledge-based models for prediction of Asellus and Gammarus in watercourses in Flanders (Belgium). *Ecological Modelling, 195*(1-2), 3-10.

Akerkar, R., & Sajja, P. (2010). *Knowledge-based systems*: Jones & Bartlett Publishers.

Becke, C., Steinhagen, D., Schumann, M., & Brinker, A. (2017). Physiological consequences for rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) of short-term exposure to increased suspended solid load. *Aquacultural Engineering, 78*, 63.

Boyd, C. E., & Tucker, C. (1992). *Water Qualitty and Pond Soil Analyses for Aquaculture*. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Auburn, AL.

Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (1998). Ecology of aquaculture ponds. In *Pond Aquaculture Water Quality Management* (pp. 8-86): Springer.

Carbajal-Hernández, J. J., Sánchez-Fernández, L. P., Carrasco-Ochoa, J. A., & Martínez-Trinidad, J. F. (2012). Immediate water quality assessment in shrimp culture using fuzzy inference systems. *Expert Systems with Applications, 39*(12), 10571-10582.

Chow, M.-Y. (1997).*Methodologies of using neural network and fuzzy logic technologies for motor incipient fault detection*: World Scientific.

Deng, W., Wang, G., & Zhang, X. (2015). A novel hybrid water quality time series prediction method based on cloud model and fuzzy forecasting. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 149*, 39-49.

dos Santos Simões, F., Moreira, A. B., Bisinoti, M. C., Gimenez, S. M. N., & Yabe, M. J. S. (2008). Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. *Ecological indicators, 8(5)*, 476-484.

Forio, M. A. E., Mouton, A., Lock, K., Boets, P., Nguyen, T. H. T., Ambarita, M. N. D., Musonge, P.L.S., Dominguez ,G.L., Goethals, P. L. (2017). Fuzzy modelling to identify key drivers of ecological water quality to support decision and policy making. *Environmental Science & Policy, 68*, 58-68.

Gutiérrez, J. D., Riss, W., & Ospina, R. (2004). LÓGICA DIFUSA COMO HERRAMIENTA PARA LA BIOINDICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA CON MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN LA SABANA DE BOGOTÁ-COLOMBIA/Application of fuzzy logic as bioindication tool for the water quality with aquatic macroinvertebrates in the Sabana de Bogotá-Colombia. Caldasia, 161-172.

Icaga, Y. (2007). Fuzzy evaluation of water quality classification. *Ecological indicators, 7(3)*, 710-71.

Juang, Y.-S., Lin, S.-S., & Kao, H.-P. (2007). Design and implementation of a fuzzy inference system for supporting customer requirements. Expert Systems with Applications, 32(3), 868-878.

Kalbassi, M. R., Abdollahzadeh, E., & Salari-Joo, H. (2013). A review on aquaculture development in Iran. Ecopersia, 1(2), 159-178.

Kampichler, C., Barthel, J., & Wieland, R. (2000). Species density of foliage-dwelling spiders in field margins: a simple, fuzzy rule-based model. Ecological Modelling, 129(1), 87-99.

Li, X., Maier, H. R., & Zecchin, A. C. (2015). Improved PMI-based input variable selection approach for artificial neural network and other data driven environmental and water resource models. Environmental Modelling & Software, 65, 15-29.

Liu, D., & Zou, Z. (2012). Water quality evaluation based on improved fuzzy matter-element method. Journal of Environmental Sciences, 24(7), 1210-1216.

Liu, L., Zhou, J., An, X., Zhang, Y., & Yang, L. (2010). Using fuzzy theory and information entropy for water quality assessment in Three Gorges region, China. Expert Systems with Applications, 37(3), 2517-2521.

Nafisi, M. (2006) *Scientific Guide to Rainbow Trout Rearing and Reproduction* (Azhar, L.Editor, Volume 3) Tehran: Hormozgan University.

Ocampo-Duque, W., Ferre-Huguet, N., Domingo, J. L., & Schuhmacher, M. (2006). Assessing water quality in rivers with fuzzy inference systems: a case study .*Environment International, 32(6)*, 733-742.

Publication of Principles of Trout Rearing and Reproduction (2003). *Principles of rainbow trout breeding*, downloaded from agrijahad-kr.ir.

Ross, T. J. (2009). *Fuzzy logic with engineering applications*: John Wiley & Sons.

Scannapieco, D., Naddeo, V., Zarra, T., & Belgiorno, V. (2012). River water quality assessment: a comparison of binary-and fuzzy logic-based approaches. *Ecological engineering, 47*, 132-140.

Stigebrandt, A., Aure, J., Ervik, A., & Hansen, P. K. (2004). Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming: III. A model for estimation of the holding capacity in the Modelling–Ongrowing fish farm–Monitoring system. *Aquaculture, 234*(1-4), 239-261.

Thorarensen, H., & Farrell, A. P. (2011). The biological requirements for post-smolt Atlantic salmon in closed-containment systems. *Aquaculture, 312*(1-4), 1-14.

Timmons,M.&Ebeling,J.&Wheaton,F.&Summerfelt,S.Vinci,B.(2001).*Recirculating aquaculture systems*. Cayuga Aqua Ventures© Ithaca :NRAC Publication No.01-002.

Xu, L & Liu, S. (2013). Study of short-term water quality prediction model based on wavelet neural network. *Mathematical and Computer Modelling, 58*(3-4), 807-813.

Yan, H., Zou, Z., & Wang, H. (2010). Adaptive neuro fuzzy inference system for classification of water quality status. *Journal of Environmental Sciences, 22*(12), 1891-1896.

Zadeh, L. A. (1965). Information and control. *Fuzzy sets, 8(3)*, 338-353.

Zadeh, L. A. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics*(1), 28-44.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران